

BAB II

TINJAUAN TEORI

2.1. Proses Ionisasi.

Ionisasi didefinisikan sebagai proses dimana elektron suatu atom atau molekul terlepas dari ikatannya. Energi yang dibutuhkan untuk melepas satu atau lebih elektron dari orbitnya pada sebuah atom atau molekul dapat didefinisikan sebagai energi ionisasi E_I . Biasanya energi ionisasi tersebut dinyatakan dalam satuan elektron volt (eV), sama dengan energi yang dibutuhkan untuk mempercepat 1 elektron dengan tegangan sebesar 1 volt.

Atom atau molekul yang kehilangan elektron akibat proses ionisasi tersebut akan bermuatan positif, yang disebut dengan ion positif. Ion positif tersebut nantinya akan digunakan sebagai partikel penumbuk setelah dipercepat oleh tegangan tinggi.

Proses ionisasi dapat disebabkan oleh bermacam-macam kejadian, antara lain [12]: yang disebabkan oleh tumbukan elektron, tumbukan ion dan kuantum cahaya.

2.1.1. Proses ionisasi yang disebabkan oleh tumbukan elektron.

Pada proses ionisasi jenis ini terjadi tumbukan tidak elastis antara atom atau molekul gas dengan elektron pengion, jika energi yang diperlukan untuk melepaskan satu atau lebih elektron dari ikatannya diberikan dalam tumbukan oleh elektron penumbuk. Jumlah energi yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari ikatannya bergantung pada keadaan energi atom atau molekul tertumbuk.

Dalam keadaan stabil ionisasi dapat terjadi apabila energi elektron yang menumbuk lebih besar atau sama dengan energi ionisasi atom atau molekul tertumbuk, yang dapat ditulis sebagai persamaan [12] :

$$\frac{1}{2} m_e v_e^2 \geq e V^i \quad (2-1)$$

dimana :

m_e = massa elektron

v_e = kecepatan elektron

e = muatan elektron

V^i = potensial ionisasi atom atau molekul

Banyaknya atom atau molekul yang diionisasi dalam sumber ion oleh tumbukan elektron tergantung pada parameter-parameter, seperti: tampang lintang ionisasi diferensial, rapat arus dari berkas elektron penembak, banyaknya atom atau molekul yang diionisasi tiap satuan

volume dan volume efektif.

Arus ion keluaran dari sumber ion diberikan oleh persamaan (2-2) [12] :

$$I^+ = \sigma_i I_e N_a V_{ef} \quad (2-2)$$

dimana :

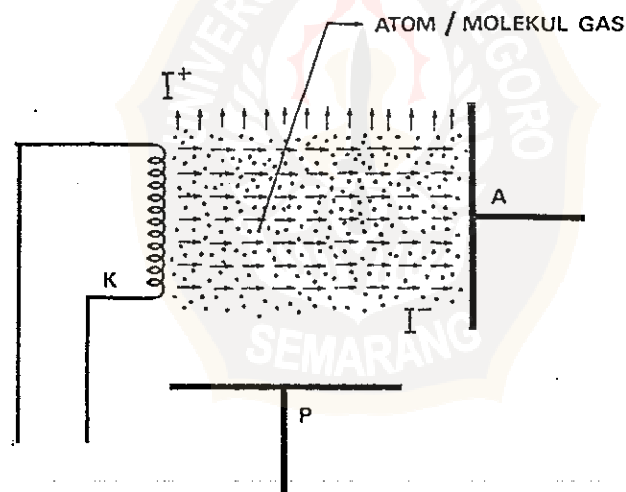
I^+ = arus ion keluaran, μA

σ_i = tampang lintang diferensial,
ion / atom elektron

I_e = arus elektron, μA

N_a = banyaknya atom atau molekul per satuan
volume, atom/cm³

V_{ef} = volume efektif, cm³



Gambar (2.1): Produksi ion oleh tumbukan elektron.

(K) Katoda, (A) Anoda, (P) Pendorong,
(I^-) Arus elektron, (I^+) Arus ion.

2.1.2. Proses ionisasi yang disebabkan oleh tumbukan ion.

Proses ionisasi ini terjadi akibat tumbukan tidak elastis antara atom atau molekul gas dengan partikel atomik pengion, dimana ionisasi tersebut bergantung pada keadaan partikel yang bertumbukan dan energi tumbukan.

Tumbukan tidak elastis antara atom atau molekul dengan partikel atomik tersebut dapat menimbulkan ionisasi jika energi partikel penumbuk memenuhi syarat sebagai berikut [12] :

$$E > E_u \quad (2-3)$$

dimana E adalah energi partikel penumbuk dan E_u adalah energi ionisasi.

Sedangkan energi ionisasi tersebut diberikan oleh persamaan [12] :

$$E_u > \frac{E_o (m_1 + m_2)}{m_2} \quad (2-4)$$

dimana :

E_o^i = energi dasar, joule.

m_1, m_2 = massa partikel yang bertumbukan, kg

E_u = energi partikel penumbuk, joule.

2.1.3. Proses ionisasi yang disebabkan oleh kuantum cahaya.

Interaksi antara foton dengan atom-atom gas dapat menimbulkan proses ionisasi, dengan kata lain bahwa atom atau molekul dapat terionisasi karena penyerapan cahaya. Proses ionisasi yang disebabkan oleh penyerapan cahaya ini disebut fotoionisasi. Proses ini dapat terjadi jika energi foton yang diserap atom atau molekul melebihi potensial ionisasi gas.

Energi kinetik elektron yang dilepaskan dalam fotoionisasi diberikan oleh persamaan [12] :

$$E_e^k = h \nu - E^i \quad (2-5)$$

dimana

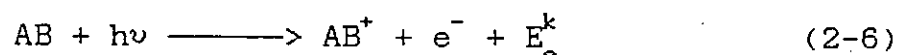
E_e^k = energi kinetik elektron

h = tetapan Planck ($6,626 \cdot 10^{-34}$ J/dt)

ν = frekuensi foton

E^i = energi minimum yang diperlukan untuk terjadinya proses ionisasi dari suatu atom atau molekul pada keadaan dasar.

Energi E^i yang diperlukan untuk memungkinkan terjadinya proses ionisasi pada keadaan dasar tersebut disebut energi ionisasi. Jika energi foton $h\nu$ mengenai molekul, maka proses ionisasi yang terjadi adalah:



dimana AB adalah molekul netral, AB^+ adalah ion positif,

e^- adalah elektron dan E_e^k adalah energi kinetik elektron.

2.2. Sumber Ion.

Sumber ion adalah bagian terpenting dalam mesin implantasi ion yang berfungsi sebagai penghasil ion dari cuplikan bahan yang akan diimplantasi. Di dalam sumber ion, gas tertentu diionisasi. Berkas ion yang dihasilkan ditarik oleh ekstraktor untuk kemudian diarahkan pada sistem lensa agar terfokus.

Ada beberapa jenis sumber ion yang masing-masing perbedaannya berdasarkan cara memproduksi ionnya, diantaranya adalah:

- 2.2.1. Sumber ion tipe Radio Frequency (RF)
- 2.2.2. Sumber ion tipe Penning (Katoda dingin)
- 2.2.3. Sumber ion tipe Lucutan
- 2.2.4. Sumber ion tipe Katoda panas.

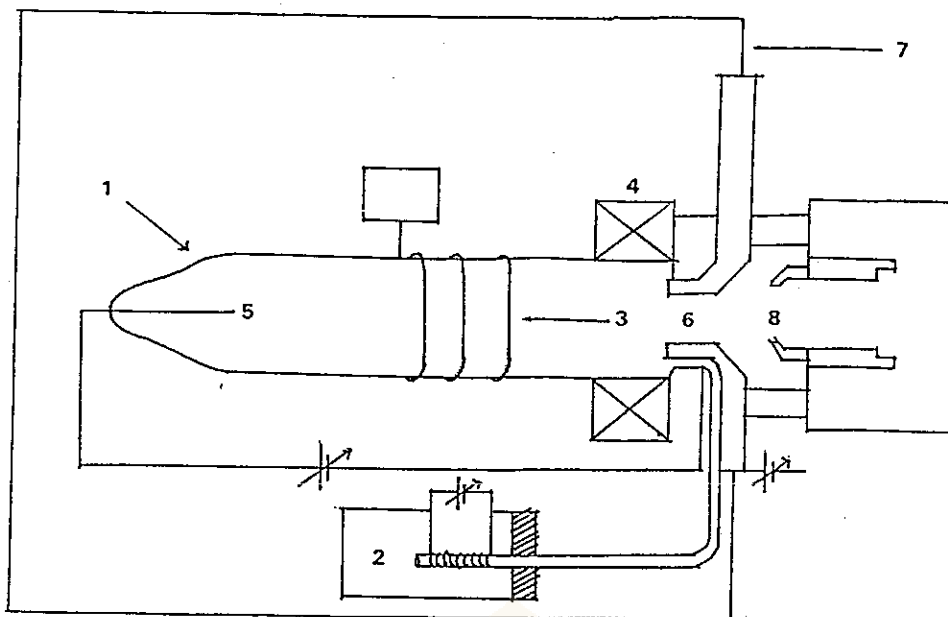
Hal-hal yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan tipe sumber ion adalah intensitas arus, yaitu besarnya arus keluaran dari sumber ion; daya guna sumber ion, yaitu berapa banyak ion yang dapat dihasilkan dibanding dengan banyaknya atom dalam sumber; serta banyaknya daya listrik yang diperlukan.

2.2.1. Sumber ion tipe Radio Frequency (RF) [3].

Pada tipe ini, gas diionkan dengan memberikan gelombang elektromagnetik melalui suatu kawat yang dililitkan pada dinding tabung dimana medan listrik dapat menembus dinding tabung dan akan mengionisasi gas.

Dengan kumparan magnet pada tabung yang dialiri arus maka akan timbul medan magnet axial, sehingga elektron-elektron akan bergerak melingkar menumbuk atom-atom gas. Proses ini akan menambah kebolehjadian timbulnya ionisasi atau konsentrasi ion-ion.

Tegangan anoda akan mendorong ion-ion ke arah katoda dan kemudian akan diekstraksikan keluar melalui saluran sumber ion. Dengan sumber ion tipe Radio Frequency (RF) cuplikan gas yang dapat diionisasi misalnya hidrogen, oksigen, boron, fospor dan lain sebagainya. Diagram sumber ion tipe Radio Frekuensi (RF) terlihat pada Gambar (2.2).



Gambar (2.2): Skema sumber ion tipe Radio Frequency (RF).

- | | |
|--|---|
| 1. Tabung ion, | 2. Tempat cuplikan gas, |
| 3. Kumparan penghasil gelombang elektromagnet, | |
| 4. Kumparan magnet, | 5. Ekstraktor, |
| 6. Saluran celah, | 7. Terminal sebagai elektroda yang dihubungkan dengan sumber tegangan tinggi, |
| 8. Lensa celah. | |

2.2.2. Sumber ion tipe Penning (Katoda dingin) [10].

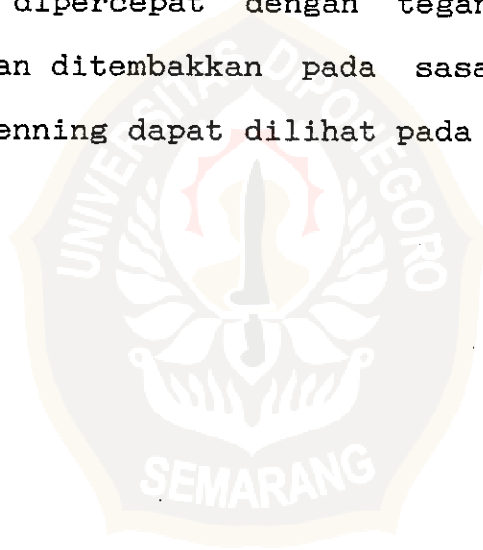
Sumber ion tipe Penning (Katoda dingin) digunakan untuk memproduksi ion bahan masukan gas, misalnya H^+ , D^+ dan lain-lain.

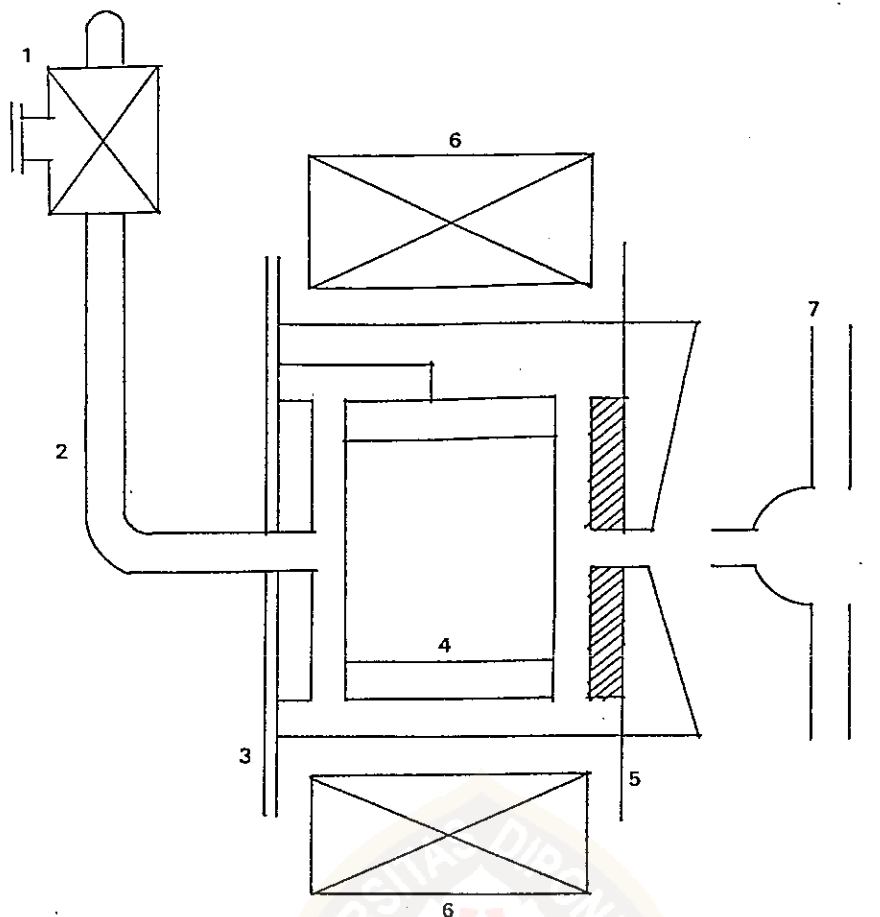
Sumber ion tipe Penning mempunyai konstruksi terdiri dari sebuah torak sebagai anoda dan silinder yang berfungsi sebagai katoda dingin dan anti katoda.

Medan listrik kuat antara anoda dan katoda menyebabkan lepasnya elektron dan kemudian menariknya masuk ruang torak anoda, selanjutnya mengionisasi gas yang ada di dalam tabung sumber ion.

Anti katoda menarik elektron yang belum dapat ditarik oleh anoda dan karena menabrak lempeng anti katoda. Dari anti katoda, elektron ditarik oleh anoda masuk ke ruang torak yang menyebabkan bertambahnya ionisasi.

Oleh tegangan ekstraktor yang negatif terhadap katoda, ion-ion hasil proses ionisasi ditarik keluar dari sumber ion, dipercepat dengan tegangan Cockroft Walton dan kemudian ditembakkan pada sasaran. Diagram sumber ion tipe Penning dapat dilihat pada Gambar (2.2).



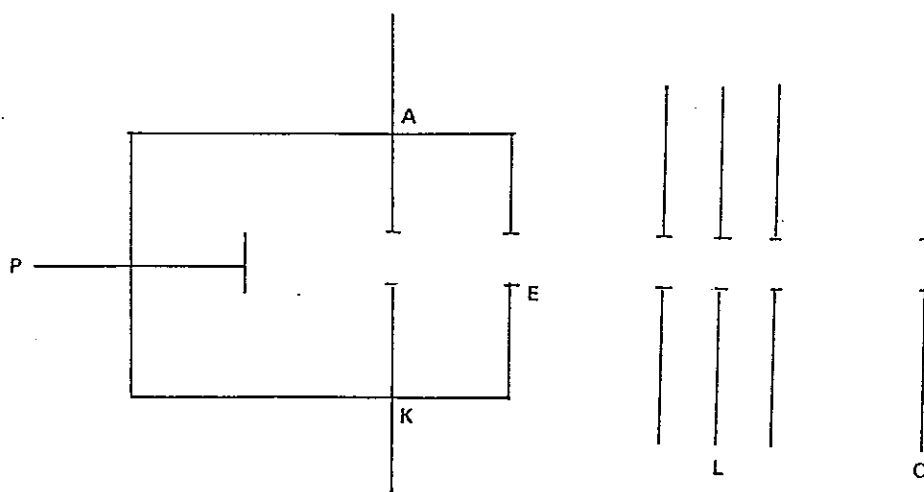


Gambar (2.3): Skema sumber ion tipe Penning.

1. Gas masuk, 2. Pipa gas, 3. Katoda, 4. Anoda,
5. Anti katoda 6. Magnet, 7. Ekstraktor.

2.2.3. Sumber ion tipe ionisasi Lucutan [4].

Pada prinsipnya sumber ion tipe ionisasi lucutan adalah sumber ion lucutan gas bertekanan rendah, dimana di dalam ruang ionisasi terdapat sepasang elektroda (katoda dan anoda) untuk melucuti gas-gas cuplikan. Lucutan yang terjadi antara katoda dan anoda tersebut menyebabkan terjadinya ionisasi pada gas cuplikan dalam ruang ionisasi.



Gambar (2.4): Skema sumber ion tipe ionisasi lucutan.

P = Elektroda pendorong, A = Anoda, K = Katoda,
E = Celah ekstraktor, L = Sistem lensa Einsel,
C = Celah sumber ion.

Agar diperoleh arus ion yang kontinyu dari sumber ion, diperlukan lucutan yang kontinyu antara anoda dan katoda di dalam ruang ionisasi. Untuk maksud tersebut tekanan gas dalam ruang ionisasi harus dipertahankan konstan, yaitu dengan mengalirkan gas cuplikan melalui katub jarum (needle valve) yang dapat diatur.

Setelah terjadi proses ionisasi ion-ion yang berada dalam ruang ionisasi akan didorong keluar melalui celah ekstraktor (E) oleh tegangan pendorong (P). Agar berkas ion yang keluar tersebut dapat terfokus pada celah sumber ion (C), maka diperlukan sistem pemfokus

(L) berupa lensa Einsel, yang terdiri dari tiga buah elektroda logam yang berlubang ditengahnya tempat jalannya berkas ion. Dengan demikian diharapkan semua ion yang keluar dari ruang ionisasi dapat masuk seluruhnya kedalam sistem analisator ion. Diagram sumber ion tipe ionisasi lucutan dapat dilihat pada Gambar (2.3).

2.2.4. Sumber ion tipe ionisasi Katoda Panas.

Pada sumber ion tipe katoda panas, gas-gas diionkan melalui tumbukan dengan elektron yang dihasilkan oleh filamen.

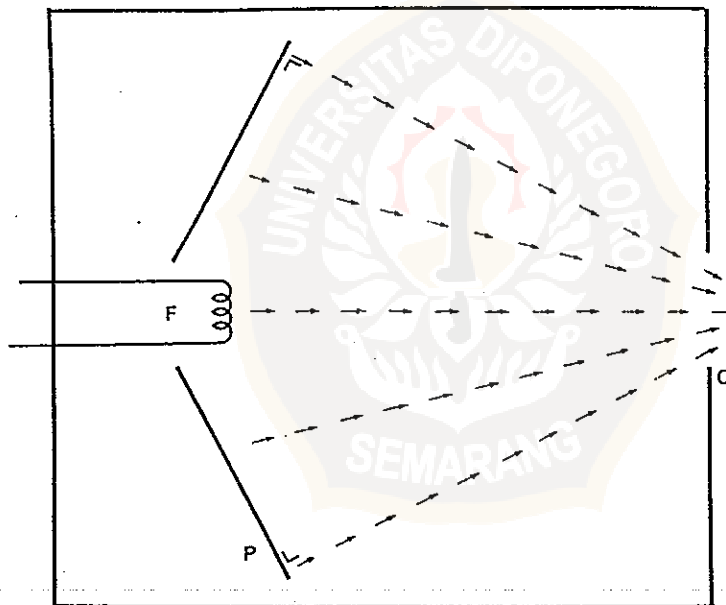
Filamen yang berfungsi sebagai katoda adalah kawat yang dipanaskan dengan cara menghubungkannya pada sumber daya. Akibat pemanasan tersebut, elektron diemisikan dari katoda menjadi elektron bebas yang bergerak dalam tabung.

Uraian lebih lanjut mengenai sumber ion tipe katoda panas akan diberikan pada Bab III.

2.3. Sistem Ekstraksi [12].

Sistem ekstraksi di dalam sumber ion menggunakan tipe celah berongga. Sistem ekstraksi tipe celah berongga menggunakan kanal keluaran berbentuk melingkar karena mempunyai sistem tembus yang tinggi pada celah

keluaran dari sumber ion. Dalam ekstraksi ini elektroda pendorong juga berbentuk melingkar, dengan sudut kemiringan tertentu yang mengarah pada celah sumber ion. Elektroda pendorong diberikan potensial positif dan celah dengan potensial negatif yang relatif tinggi terhadap potensial pendorong sehingga timbul medan listrik yang mengarah dari pendorong ke celah. Potensial negatif yang terpasang pada elektroda pengestraksi membentuk berkas ion yang terfokus. Diagram ekstraksi sumber ion tipe katoda panas ditunjukkan pada Gambar (2.5).



Gambar (2.5): Ekstraksi sumber ion

(F) Filamen (Katoda), (P) Pendorong,
(C) Celah.

2.4. Pemfokusan [9].

Berkas ion yang dihasilkan oleh sumber ion sebelum mencapai target mempunyai kecenderungan menyebar akibat gaya tolak menolak ion-ion itu sendiri dan tumbukan dengan atom-atom gas di dalam ruang ionisasi. Untuk itu diperlukan lensa pemfokus yang berfungsi memfokuskan berkas ion hasil proses ionisasi. Diameter berkas ion tergantung pada energi partikel dan panjang lintasannya. Berkas ion yang berenergi tinggi dengan kerapatan sedang lebih mudah dikendalikan dan dapat difokuskan dengan baik.

Jarak fokus berkas ion yang terfokus atau terdifergensi adalah

$$f = \frac{4 V_f}{(dV / dx)} \quad (2-7)$$

dimana:

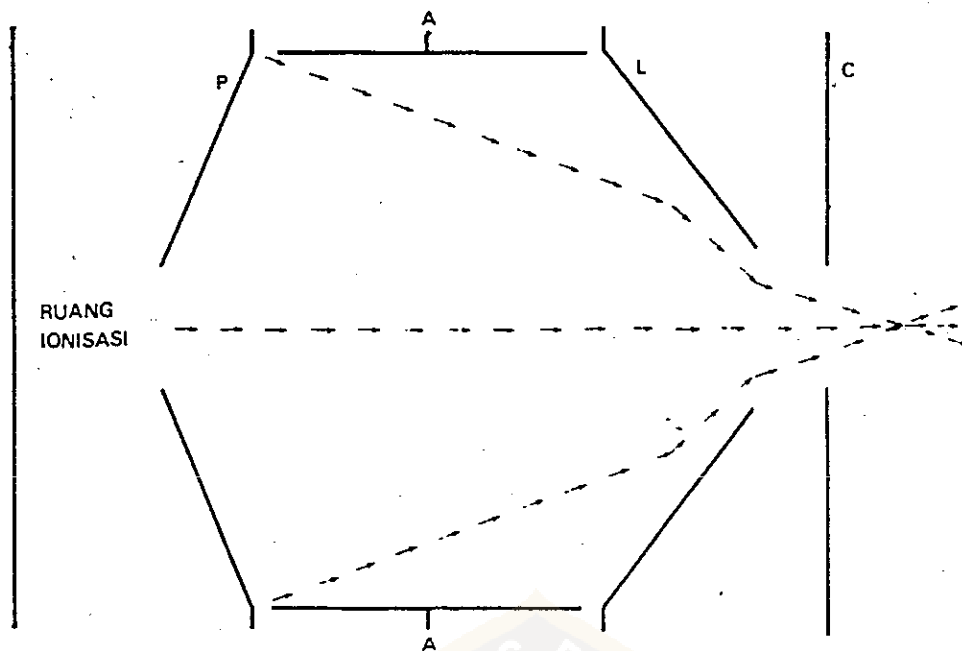
f = jarak fokus, yaitu jarak dari titik fokus berkas ion terhadap ujung lensa pemfokus.

V_f = tegangan pemercepat.

dV / dx = gradien tegangan antar elektroda pemfokus

Dengan meletakkan lensa pemfokus pada jarak yang memenuhi hubungan seperti pada persamaan di atas, maka lintasan berkas ion akan hampir seluruhnya di dalam tabung. Diagram pemfokusan berkas ion terlihat pada

Gambar (2.6).



Gambar (2.6): Pemfokusan berkas ion.

(P) Pendorong, (A) Anoda, (L) Pemfokus, (C) Celah.

2.5. Gerakan partikel dalam medan magnet.

Partikel yang bergerak dengan kecepatan v memasuki medan magnetik B maka partikel akan dikenai gaya Lorentz, yang besarnya:

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} \sin \alpha \quad (2-8)$$

dimana q adalah muatan partikel dan B adalah medan magnet.

Apabila arah v tegak lurus terhadap arah B maka partikel penumbuk membentuk gerakan melingkar.

Percepatannya kemudian mengarah ke pusat (sentrripetal)
maka persamaan untuk gerakan melingkar adalah:

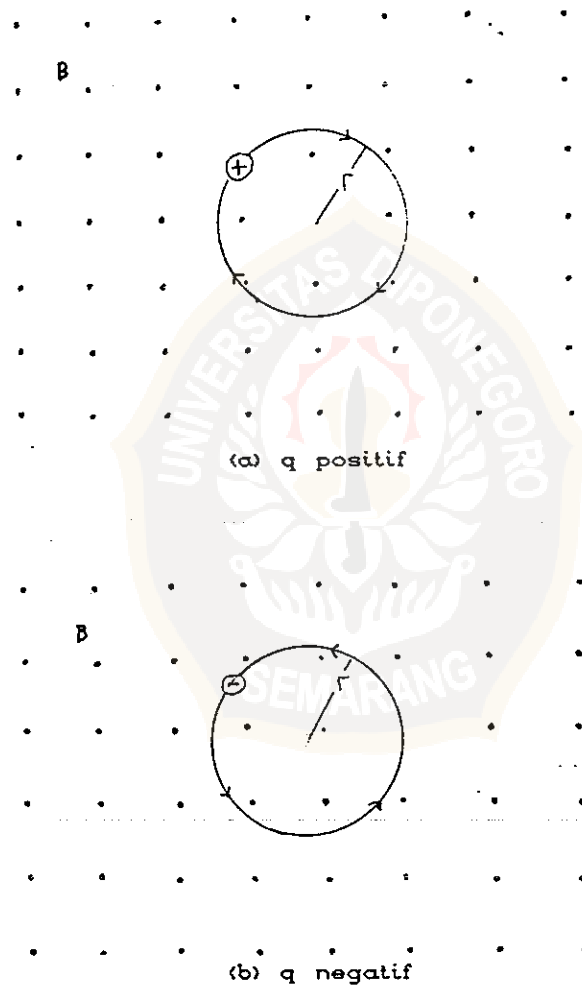
$$F = \frac{m v^2}{r}$$

Diman F diberikan oleh persamaan (2-8), jadi:

$$\frac{m v^2}{r} = q v B$$

Maka jari-jari lingkaran yang dibentuk oleh partikel
adalah:

$$r = \frac{m v}{q B} \quad (2-9)$$



Gambar (2.6): Lintasan melingkar partikel
dalam suatu medan magnetik.

Dengan adanya medan magnet tersebut elektron-elektron yang menuju dinding tabung akan berkurang karena perubahan arah gerak elektron.

2.6. Aliran gas [7].

Apabila gas mengalir melalui suatu elemen sistem vakum, gas itu akan mengalami suatu rintangan tertentu. Banyaknya gas yang mengalir melalui elemen berlaku:

$$Q = \frac{\Delta P}{W} \quad (2-10)$$

dimana

Q = banyaknya gas, torr liter per detik,

ΔP = beda tekanan, torr

W = tahanan alir, detik per liter.

Untuk Q , dapat juga mengambil $F \times P$, dimana P adalah tekanan dalam Torr dan F adalah kuat arus dalam liter per detik. Sebagai ganti tahanan alir W , dalam tehnik vakum selalu dipakai daya hantar C , yang mana:

$$C = \frac{1}{W} \quad (2-11)$$

Jadi $Q = \Delta P C$, dimana C dinyatakan dalam liter per detik.

Daya hantar gas didapat dari:

$$C_{gas,T} = C \times 0,31 \left[\frac{T}{M} \right]^{1/2} \quad (2-12)$$

dimana

C = daya hantar udara, liter per detik

T = suhu kamar, °K

M = berat molekul gas.

Daya hantar untuk penghantar pipa silindris panjang:

$$C = 0,98 \frac{R^3}{L} \text{ liter/detik} \quad (2-13)$$

dimana

R = jari-jari pipa, mm

L = panjang pipa, mm.

Untuk pipa berjari-jari R_1 yang ujungnya ditutup dengan lempeng berlubang bundar yang berjari-jari R_2 , daya hantar lubang bundar tersebut bagi gas yang mengalir keluar melalui pipa tersebut adalah:

$$C = 0,365 \frac{R_1^2 R_2^2}{R_1^2 - R_2^2} \quad (2-14)$$

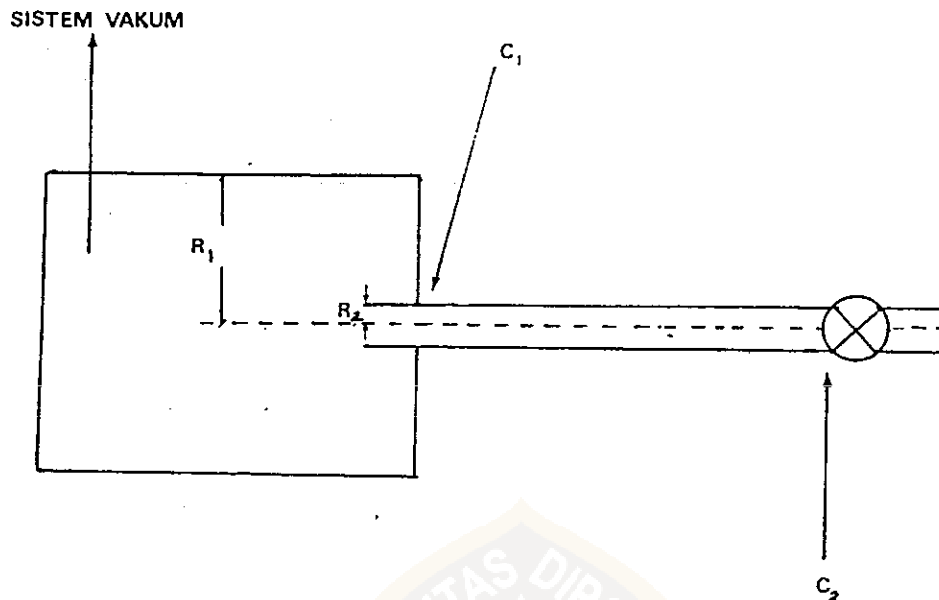
dimana:

R_1 = jari-jari pipa, mm

R_2 = jari-jari lubang, mm.

Daya hantar suatu saluran sistem sederhana, seperti pada Gambar (2.8) untuk keadaan aliran gas pada suatu suhu kamar, dimulai dari sistem vakum kemudian

daya hantar pipa, yang mana daya hantarnya akan dihitung sendiri-sendiri.



Gambar (2.8): Daya hantar suatu sistem vakum.

R_1 = jari-jari lempeng, R_2 = jari-jari pipa,
 L = Panjang pipa, C_1 = Daya hantar lempeng,
 C_2 = Daya hantar pipa.

Untuk daya hantar total pada Gambar (2.9) dapat dianggap tahanan yang tersusun seri terhadap lubang bundar (masuk) dengan daya hantar C_1 dan pipa silindris dengan daya hantar C_2 .

Sehingga:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (2-15)$$

dimana:

C = Daya hantar total, liter per detik

C_1 = Daya hantar lubang masuk, liter per detik

C_2 = Daya hantar pipa, liter per detik.

